

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2016.03.025

基于复杂网络理论的供应链风险管理研究综述

马靖莲¹, 董千里¹, 陈明明¹, 沈 丽²

(1. 长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064; 2. 山东交通学院, 山东 济南 250357)

摘要: 针对现有的供应链具有多环节、多参与主体、跨地域等特征, 易受到系统内部以及外部环境的影响, 从而导致供应链的风险。为此, 本文以复杂网络理论为基础, 总结了供应链复杂网络特性, 分析了网络仿真分析、复杂网络理论在供应链网络中的研究现状。结合复杂网络特点, 总结了国内外不同学者对复杂网络上供应链风险的评估方法, 提出了复杂网络供应链风险传播研究中的几个开放问题以及基于复杂网络理论的供应链风险管理的研究方向, 为后续的研究提供方向。

关键词: 运输经济; 供应链; 复杂网络理论; 风险; 管理

中图分类号: F252.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2016) 03-0154-05

Research Summary of Supply Chain Risk Management Based on Complex Network Theory

MA Jing-lian¹, DONG Qian-li¹, CHEN Ming-ming¹, Shen Li²

(1. School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China;

2. Shandong Jiaotong University, Jinan Shandong 250357, China)

Abstract: Supply chain is easily vulnerable to be influenced by internal and external environments because of the characteristics of multiple links, multiple participants, cross-boundary and other features, leading to the risk of supply chain. Therefore, based on complex network theory, we summed up the complex network characteristics of supply chain, analyzed the research status of network simulation analysis and complex network theory in supply chain network. Combining with the characteristics of complex network, we summed up the evaluation methods to the risk of supply chain on complex network from different scholars at home and abroad, proposed several open issues in researching risk communication in supply chain of complex network, and also proposed the research direction of supply chain risk management based on the theory of complex network, which can provide the direction for future research.

Key words: transport economics; supply chain; complex network theory; risk; management

0 引言

供应链是一种以加强战略合作为目的, 通过获取原材料, 把半成品加工成产品, 并将产品送给顾客过程中所涉及到的企业或部门进行有机集成功能网链结构模式。通过研究供应链的构成、运作、协调等各方面并加以实践, 最终形成一套新的经营与运作模式来管理供应链^[1-2]。供应链管理自提出以来, 因其优越性及给企业带来的多种效益,

已引起众多理论研究者和企业界人士的广泛关注。

近年来, 突发事件频发, 对供应链造成了严重的干扰和冲击, 有时甚至会导致供应链中断。2009年底, 丰田车因质量问题而引发“召回门”事件, 使得丰田公司面临前所未有的危机, 与其有关的供应商和销售商因受牵连而损失惨重。2010年美国波音787飞机由于发生试飞起火事故延迟交付飞机运营, 这一突发事件让许多供应商措手不及而损失严重。2011年日本福岛核电站事故, 不仅对日本本土

收稿日期: 2015-08-25

基金项目: 国家社会科学基金项目 (13BJY080)

作者简介: 马靖莲 (1981-), 女, 新疆沙湾人, 博士研究生. (56270080@qq.com)

经济,甚至对全球精密零部件的整个产业供应链都造成了严重影响。2012年钓鱼岛事件抵制日货,引起了人们对日本企业近年来在中国市场大肆扩展的关注,在这其中日系车因这一事件的影响而销量大减,影响了国内众多的4S店。关于此类波及范围广、影响力大的供应链风险事件较多,但从中可以看出,供应链风险已经成为限制供应链管理模式发展的主要因素,也是各企业在实施供应链管理中不得不考虑的一个重要问题。

F. Renlin 和 M. J. Shaw 认为,原料供应商、制造商、分销商、零售商以及各环节的服务商在战略、业务、资源方面协同作用而形成了多条供应链交互构成的异构分布式系统,即供应链网络。对供应链网络中的某个实体来说,它可以处于网络的不同位置,可以为不同行业领域提供服务。在全球经济一体化发展的环境下,供应链网络的规模以及结构不断发展,随着供应和需求不确定性的不断增加,带来的是产品和技术生命周期的缩短,使得供应链网络的复杂性不断增加,从而导致供应链的脆弱性逐渐增加,潜在的风险也越来越大。

本文以复杂网络理论为基础,分析供应链复杂网络特性,论述复杂网络理论在供应链风险管理中的研究现状,并针对现状提出可能的发展方向。

1 复杂网络理论及供应链的复杂网络特性

1.1 复杂网络理论简介

复杂网络理论最早起源于18世纪初应用数学领域中的图论和拓扑学,针对网络的研究与发展经历了3个阶段:规则网络阶段、随机网络阶段和复杂网络阶段。虽然复杂网络理论已经得到显著的发展,并在诸多领域得到广泛应用,但对于复杂网络的定义目前还没有得到明确,一般认为具有如下两个特征的网络可以视为复杂网络^[3]:一是网络节点的复杂性。复杂网络的节点数量一般会成千上万,只有数量达到一定的程度,才会导致网络结构的复杂,如Internet网络、社会网络等网络对象,其节点规模达到上亿级别。二是网络关系的复杂性。由于网络节点数量的庞大,原本简单单一的网络关系变得错综复杂,同时由于节点之间的关系处于动态变化之中,导致网络结构具有动态特性,网络之间的关系变得异常复杂。

1.2 供应链的复杂网络特性

伴随着网络技术的普及和全球经济的一体化,传统的、单一的链条式物流供应链形态扩展为复杂

的相互影响的网络结构,结构内部存在着广泛错综的物质、信息和资金交换,结构之间相互影响,交织构成复杂网络,供应链系统也越来越具有复杂网络的诸多特性,主要体现在以下几个方面。

(1) 组织结构的网络性。在由供应商相互之间构成供应链的过程中,一个原料商一般会为多个制造商提供原料供应,同时,一个制造商所需的各种原料也来自多个不同的原料商,而生产出来的成品也往往由多个分销商进行销售。因此,供应链结构并非简单的链式结构,而是由多级别且每个级别包含多个企业个体的具有交互关系的网状结构,这种结构上的网络性为复杂网络理论方法在供应链网络风险研究中的应用提供了最基本的支撑条件。

(2) 供应链的复杂性。供应链系统作为一个系统,其复杂性源于多种因素,不仅包括自身内部大量潜在的可能性,还包括横向企业的竞争和纵向信息的牛鞭效应之间的相互作用和影响。而导致复杂性的主要原因不仅是管理技术、交互行为、组织结构,而且最重要的是供应链系统内部和外部环境的各种不确定因素带来的动态变化。

(3) 供应链的系统性。供应链网络是一个组织性特征显著的系统,供应链中的每个成员单位之间都是利益共同体,且具有独立的决策主体。但在信息交互、资金流动、实物流通等方面,每个企业又各不相同,且在利益上存在着交互博弈。因此供应链是在合作、竞争、动态的环境中,由供应商、制造商、分销商、零售商以及顾客等所有实体构成的一个快速响应环境变化的动态供需系统,认识和管理供应链网络,需要从各个供应链系统的动态复杂性、供应链环节之间相互作用的复杂性和结构的复杂性等多个方面研究,更重要的是要关注表现在供应链实体之间及其所处环境之间的复杂相互作用及人的参与,并由此而导致的复杂动态行为。正是由于供应链系统在构造方面与复杂网络具有较高的相似性,同时鉴于供应链系统的不确定性和复杂性,传统的静态线性分析方法已不能较好地对当前规模日益扩大、运行机制日益复杂的现代供应链系统进行研究。

2 复杂网络理论在供应链风险中的应用研究现状

2.1 网络仿真分析在供应链风险中的研究

Wang 等^[4]为了描述制造产业的供应链系统动力学,介绍了一种离散-连续混合 Petri 网模型,并分析了网络化制造系统的风险问题。杨康等^[5]将复杂网络病毒传播动力学中的易染状态模型引入供应链

风险传播研究中,建立了供应链网络风险传播模型,并以小世界网络为例,从整个供应链网络角度对模型进行了仿真分析。郭进利^[6]在有向复杂网络拓扑结构还不清楚的情况下,通过分析这种供应链型有向网络,利用更新过程理论,发现了稳态度分布不存在的网络节点,并关注具有双向幂律性的网络稳态平均度。该模型并未验证新增入边数和出边数所呈现的 Bernoulli 分布特征与现实供应链是否一致。朱冰心等^[7]基于复杂网络理论研究供应链应急管理,提出了运用复杂网络理论可以帮助评价供应链网络的结构,衡量网络的效率,识别供应链网络中的关键节点,从而达到对供应链网络进行防护的目的。柳虹等^[8]针对只发生在层与层之间、不发生在跨层连接的节点之间的联系进行分析,以节点多属性参数组合作为优先联接的依据。为了得出分层供应链网络,讨论该模型是否具有无标度特性、较小的平均路径长度和较大的集聚系数,建立了一个分层加权供应链网络模型,以简化假设该模型的不发生跨层连接,并进一步考虑发生跨层连接的情况。

由此可知,可以根据所要研究的问题和其他理论相结合的方法,以及改造复杂网络模型中的参数是否满足研究问题的背景条件来决定建模技术的重构方法。对于供应链网络研究,这些重构模型或许能开辟一条新的思路。

2.2 复杂网络理论的供应链网络专题研究

供应链网络是因客户需求多样性和企业适应市场变化而产生的,它涉及众多企业的网络系统,是一个开放的复杂巨系统。基于此,针对供应链中的合作、网络优化、牛鞭效应、级联效应等开展了研究。

P. Moeinzadeh 等^[9]以网络分析过程和模糊理论为基础,从系统化的角度出发,对供应链风险进行了识别和分类,同时也对供应链中的企业个体进行了分类,从而提出了能够评估哪些合作者具有较大风险的方法。Zeng 等^[10-11]从灾难性风险和偶发性风险两个角度出发,通过决策树的方法建立了风险与供应商数量之间的决策模型,并得到结论:当灾难性风险发生概率较低时,供应商的数量具有鲁棒性,会保持相对稳定的状况;偶发性风险发生的概率与供应链的数量之间存在一个拐点,当低于这个拐点时,供应商数量与风险发生的概率具有显著相关性,当超过这个拐点时,供应商数量与风险发生的概率无显著相关性。美国物理学家 D. Helbing^[12]是国外较早将复杂网络理论应用于供应链管理研究的学者,他指出,供应链网络拓扑结构与供应链运作管理模

式中普遍存在牛鞭效应,它们之间具有显著的相关性,可以通过优化供应链网络结构来减弱牛鞭效应,进而提高供应链系统的稳定性和抗干扰性。相对国外来说,国内在这方面的研究更早一些。Sun 等^[13]利用统计方法来实证分析一个具有 48 万条边、39 万多个节点的供应链网络。结果表明,供应链网络服从幂律分布,存在无标度的特性。郭进利等^[14]按照新增节点以及随之而新增的入边、出边,将无向的供应链网络演化为有向网络,研究了该有向网络节点的瞬时度分布和稳定度分布。结果表明,有向供应链网络的节点稳态度分布虽然不存在,但具有双向幂律性;黄健等^[15]制订了供应链网络的演化规则,并建立了相应的网络生成模型,分析了所生成网络的动态演化统计特性,证明了供应链网络存在无标度特性。

上述复杂网络理论都是在较为宏观的概念下对供应链网络进行的研究,并未对风险进行细化。依托于复杂网络,将供应链上的企业及其相互关系虚拟成网络进行分析,能较好地反映实际的问题和风险的扩散。

3 复杂网络上供应链风险的评估

风险扩散的研究最早开始于金融领域中的风险传递,由于 20 世纪 80 年代西方政府放松了对金融体系的管制,导致金融机构承担的风险增加,因此迫切希望预估或预测其金融活动所承担的风险。针对风险在金融领域的传递研究成为人们关注的焦点。随着金融风险管理研究的深入,企业的其他风险也逐渐暴露并得到重视,进而由金融风险转到企业风险传递研究。叶建木^[16]对战略风险传递进行了定义,认为战略风险传递是由于企业战略制订不当导致企业竞争能力下降,并为企业带来了损失的可能性,从而对相邻企业产生影响和作用的过程。夏喆认为风险传递是指企业内、外部系统的风险源,以某种载体为依据,通过一定的路径,在企业生产、经营等各个环节中进行蔓延,造成企业或其相关企业不能达到预期目标。综上所述,目前关于风险传递的研究主要针对金融领域,涉及企业风险传递,对于供应链网络风险的传递研究则还不够透彻。

对于供应链上风险的评价有较多学者开展了研究。供应链总体风险是由供应链网络中的多个风险组合而成的,这些不同风险之间具有一定的相关性。Liu 等^[17]采用专家评估法进行风险评估,利用模糊计算法对供应链运作过程可能产生的所有信息流、

物流和资金流的风险进行整合来评估整体风险。Ma等^[18]在构建供应链运作模型的基础上,采用模糊评估法来确定供应链整体的风险,并对风险加以评价。M. van de Voort^[19]建议采用模拟仿真、模糊集理论、人工神经网络、突变理论等技术对供应链风险进行评估。

江孝感等^[20]提出的供应链风险评估体系是从供应链运作结构的角度这一基础上进行的,认为组织风险和物流风险在供应链中是最可能发生的风险,建议针对每一过程,将不同层次的风险进行逐层拓展,确定供应链的整体风险选择叠加法,而确定发生的可能性及影响程度并采用评价因素。

D. Bogataj等^[21]分析了系统的不同步性,认为可利用供应链运营系统中各部分输入-输出之间的差异性,对各种风险进行分类。在设计了各风险的脆性测度体系后,可通过拉普拉斯变换和拟合描述供应链的整体风险。

刘冬林等^[22]以风险之间是相互独立的关系为前提条件,研究了供应链多风险的综合评估法。具体方法为首先采用一个单独风险变量分布的卷积计算得到供应链整体风险的分布函数,然后求出该函数的数字特征,即可通过数字特征的具体数值体现整体风险的情况。刘介明^[23]将专家系统和人工神经网络联系起来评估供应链风险,但是该方法要以一定数量的历史数据为条件。朱鲲鹏等^[24]以供需链的敏捷性为目标,将敏捷供需链的不确定性因素进行分类,风险分析的最终结果以各层评价指标变化来表示,对敏捷供需链系统的不确定因素则采用风险分析法来进行分析。

对于供应链风险评估方面的研究成果较多,大都采用层次分析法、神经网络、熵权法、网络模糊评价法、灰色评价法等数学评价方法,集中于风险综合评价技术方面。在评价过程中,以供应链中的资源流及其变化为核心来选取指标,其存在的主要问题为:(1)风险的产生过程中有很多是与人有关系的风险因素,在评价过程中无法量化,导致研究结果与实际存在差异。(2)评估机制的设计决定着评估过程的科学性和合理性,评估机制的设计研究基于现有的数学评价方法,未能得到深入研究。(3)大多数研究是在理性人的基础上进行假设,与实际存在较大的差异,不能够较准确地确定操作人员对供应链带来的风险影响,而这种行为实际上正是供应链风险的产生源泉。

4 复杂网络供应链风险传播研究中的几个开放问题

(1) 供应链网络符合复杂网络的特征,可以应

用复杂网络动力学的基本理论来研究风险在供应链网络上的动态传染变化规律,为制订行之有效的供应链风险控制策略提供依据。

(2) 复杂网络有不同的网络类型,如小世界网络、无标度网络,这些不同的网络具有不同的网络拓扑结构,不同复杂网络上的动力学行为也不相同;对于供应链来说,提供相同产品的不同企业,其供应链网络结构也不相同。所以这些不同结构的供应链网络,其风险的动力学特征又不同,值得进一步研究,以便为优化供应链网络结构及风险控制奠定基础。

(3) 供应链中的某单一风险往往会引发其他一系列风险,这些风险如何在供应链网络上传染,值得进一步研究。

5 结论

由于供应链节点较多,使得供应链网络更加复杂,基于复杂网络理论的供应链风险管理正在成为研究热点。通过以上研究成果的梳理,笔者认为以下几点可以作为未来的研究方向:

(1) 有必要将统计物流学、社会网络分析方法、图论等复杂网络理论与博弈论、运筹学等传统供应链分析方法相结合,从而能够构建更为精确的分析框架。

(2) 由于经济网络化发展、产业结构转化升级、智能技术进步等使得供应链网络表现出复杂网络特征,可利用复杂网络理论充分反映出供应链网络的各种属性,提炼出供应链网络的潜在规律和特点,以帮助改善供应链管理,控制供应链风险。

(3) 供应链网络具有复杂网络的特征,可以建立供应链复杂网络模型,并研究其网络结构特性对供应链风险传染效应的影响,从而为供应链风险管理提供新的理论依据。

参考文献:

References:

- [1] CHOPRA S, MEINDL P. Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation [M]. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2001.
- [2] 马士华,林勇. 供应链管理 [M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
MA Shi-hua, LIN Yong. Supply Chain Management [M]. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [3] 杨康. 基于复杂网络理论的供应链网络风险管理研究 [D]. 北京:北京交通大学, 2014.
YANG Kang. Risk Management of Supply Chain Network

- Based on Complex Network Theory [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014.
- [4] WANG Z, ZHANG J, CHAN F T S. A Hybrid Petri-nets Model of Networked Manufacturing Systems and Its Control System Architecture [J]. Journal of Manufacturing Technology Management, 2005, 16 (1): 36–52.
- [5] 杨康, 张仲义. 基于复杂网络理论的供应链网络风险传播机理研究 [J]. 系统科学与数学, 2013, 33 (10): 1224–1232.
- YANG Kang, ZHANG Zhong-yi. The Research on Mechanism of Supply Chain Network Risk Based on Complex Network Theory [J]. Journal of Systems Science and Mathematics, 2013, 33 (10): 1224–1232.
- [6] 郭进利. 有向复杂网络的 Poisson 模型 [J]. 上海理工大学学报, 2006, 28 (3): 227–232.
- GUO Jin-li. Poisson Model of Directed Complex Networks [J]. Journal of University of Shanghai for Science and Technology, 2006, 28 (3): 227–232.
- [7] 朱冰心, 胡一竑. 基于复杂网络理论的供应链应急管理研究 [J]. 物流技术, 2007, 26 (11): 147–150.
- ZHU Bing-xin, HU Yi-hong. Study on Supply Chain Disruption Management Based on Complex Network Theory [J]. Logistics Technology, 2007, 26 (11): 147–150.
- [8] 柳虹, 周根贵, 傅培华. 分层供应链复杂网络局部演化模型研究 [J]. 计算机科学, 2013, 40 (2): 270–273.
- LIU Hong, ZHOU Gen-gui, FU Pei-hua. Local Evolving Model Research of Layered Supply Chains Complex Networks [J]. Computer Science, 2013, 40 (2): 270–273.
- [9] MOEINZADEH P, HAJFATHALIHA A. A Combined Fuzzy Decision Making Approach to Supply Chain Risk Assessment [J]. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009, 60: 519–535.
- [10] ZENG A Z, BERGER P D, GERSTENFELD A. Managing the Supply-side Risk in Supply Chains, Taxonomies, Processes and Examples of Decision-making Modeling [R]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [11] BERGER P D, GERSTENFELD A, ZENG A Z. The Optimal Use of Standby Suppliers: A Decision Analysis Approach [J]. International Journal of Logistics: Research and Applications, 2005, 8 (1): 67–79.
- [12] HELBING D, ARMBRUSTER D, MIKHAILOV A S, et al. Information and Material Flows in Complex Networks [J]. Physics A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2006, 363 (1): 11–151.
- [13] SUN H J, WU J J. Scale-free Characteristics of Supply Chain Distribution Networks [J]. Modern Physics Letters B, 2005, 19 (17): 841–850.
- [14] 郭进利. 供应链型网络中双幂律分布模型 [J]. 物理学报, 2006, 55 (8): 3916–3921.
- GUO Jin-li. The Bilateral Power-law Distribution Model of Supply Chain Networks [J]. Acta Physica Sinica, 2006, 55 (8): 3916–3921.
- [15] HUANG J, XIAO T, SHENG Z, et al. Modeling an Evolving Complex Supply Network [J]. Journal of Systems Science and Information, 2007, 5 (4): 327–338.
- [16] 叶建木, 邓明然. 战略风险传导及其效应分析 [J]. 科学学与科学技术管理, 2007 (2): 127–130.
- YE Jian-mu, DENG Ming-ran. Research on the Strategic Risk Spreading and Its Effect [J]. Science of Science and Management of S. & T., 2007 (2): 127–130.
- [17] LIU Y, WU H, LUO M. A Reliability Evaluation of Supply Chain: Indicator System and Fuzzy Comprehensive Evaluation [J]. Research and Practical Issues of Enterprise Information System II, 2008, 255: 1515–1521.
- [18] MA Han-wu, MA Qin-rong, FU Guo-hui. Evaluation of Supply Chain Default Risk Based on Fuzzy Influence Diagram [J]. Journal of Southeast University: English Edition, 2012, 23 (S1): 111–117.
- [19] VAN DE VOORT M, WILLIS H, ORTIZ D. Applying Risk Assessment to Secure the Containerized Supply chain [M] // LINKOV I, WENNING R J, KIKER G. Managing Cordially, Critical Infrastructure Risks. New York: Springer-Verlag Inc., 2007: 79–95.
- [20] 江孝感, 陈丰琳, 王凤. 基于供应链网络的风险分析与评估方法 [J]. 东南大学学报, 2007, 37 (增2): 355–360.
- JANG Xiao-gan, CHEN Feng-lin, WANG Feng. Risk Analysis and Assessment in Supply Chain Network [J]. Journal of Southeast University, 2007, 37 (S2): 355–360.
- [21] BOGATAJ D, BOGATAJ M. Measuring the Supply Chain Risk and Vulnerability in Frequency Space [J]. International Journal of Production Economics, 2007, 108 (1): 291–301.
- [22] 刘冬林, 王春香. 供应链多风险组合的综合评估及风险管理 [J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2006, 28 (8): 291–301.
- LIU Dong-lin, WANG Chun-xiang. Evaluation of Multi-risk Combination of Supply Chains and Its Risk Management [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Information and Management Engineering, 2006, 28 (8): 291–301.
- [23] 刘介明. 供应链的利益与风险分析 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2003.
- LIU Jie-ming. Benefit and Risk Analysis of Supply Chain [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2003.
- [24] 朱鲲鹏, 柴跃廷, 杨家本. 敏捷供应链系统实体间协作风险的研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2003, 9 (10): 879–885.
- ZHU Kun, CHAI Yue-ting, YANG Jia-ben. Cooperating Risk Among Entities in Agile Supply Chain [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2003, 9 (10): 879–885.